



دانشکده علوم پایه
گروه آموزشی فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش هسته‌ای

عنوان:

ارائه‌ی روشی برای تفکیک نوترونهای پیش از نقطه‌ی زین و اثر آن روی
ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت در واکنش‌های القایی با یون سنگین

استاد راهنما:

دکتر سعید سهیلی

استاد مشاور:

دکتر منوچهر بابایی پور

نگارش:

راضیه صادقی

آذر ۱۳۹۲

فهرست مطالب

۱-۱-مقدمه	۶
۲-۱-نوترون های گسیل شده در فرآیند شکافت	۶
۳-۱-چشمه های نوترون	۷
۱-۳-۱-چشمه آلفا- بریلیوم:	۷
۲-۳-۱- چشمه فوتو نوترون:	۸
۳-۳-۱- شکافت خود بخود:	۸
۴-۳-۱- واکنش های هسته ای:	۸
۵-۳-۱- چشمه رآکتور:	۹
۴-۱- روش های اندازه گیری تعداد متوسط نوترون های گسیلی از هسته ی مرکب:	۹
۱-۴-۱- استفاده از آشکارسازهای نوترون:	۹
۲-۴-۱- محاسبه نوترونها با استفاده از تقریب terrel :	۱۱
۳-۴-۱- روش توزیع زاویه ای پاره های شکافت:	۱۲
۱-۲- مقدمه	۱۴
۲-۲- مدل آماری نقطه زینی استاندارد (SSPSM)	۱۸
۳-۲- توزیع زاویه ای پاره های شکافت در مدل آماری نقطه زینی استاندارد	۱۹
۱-۳-۲- هسته های هدف و پرتابه فاقد اسپین ذاتی	۱۹
۲-۳-۲- هسته های هدف و پرتابه دارای اسپین ذاتی	۲۴
۴-۲- ناهمسانگردی پاره های شکافت	۲۶
۱-۴-۲- نوترونها ی گسیلی حاصل از فرآیند شکافت و انرژی این نوع نوترونها	۲۹
۵-۲- مدل آماری نقطه انقطاع (SSM)	۳۳
۶-۲- توزیع زاویه ای پاره های شکافت در مدل نقطه انقطاع	۳۵
۱-۵-۲- پاره های شکافت متقارن کروی	۳۸
۲-۶-۲- پاره های شکافت متقارن تغییر شکل یافته	۴۱

- ۴۱ ۱-۲-۶-۲- پاره‌های شکافت تغییر شکل یافته هم تراز
- ۴۳ ۲-۲-۶-۲- پاره‌های شکافت تغییر شکل یافته غیر هم تراز
- ۴۴ ۷-۲- ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت
- ۴۵ ۸-۲- تأثیر نوترون‌های پیش شکافت در محاسبه ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت
- ۴۸ ۹-۲- محدوده اعتبار مدل‌های آماری
- ۴۹ ۱۰-۲- توصیف رفتار غیر عادی در ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت
- ۵۱ ۱-۱۰-۲- شکافت سریع
- ۵۱ ۲-۱۰-۲- شبه‌شکافت
- ۵۲ ۳-۱۰-۲- شکافت پیش تعادلی
- ۵۲ ۱۱-۲- پیش بینی رفتار سیستمها
- ۵۵ ۱-۳- مقدمه
- ۵۵ ۲-۳- روش توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت
- ۵۷ ۳-۳- محاسبه‌ی تعداد متوسط نوترونهای پیش از نقطه‌ی زین با استفاده از روش توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت:
- ۶۰ ۱-۳-۳- نمونه محاسبات برای سیستم شکافت القایی $^{12}_6\text{C} + ^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{244}_{96}\text{Cm}$
- ۶۸ ۲-۳-۳- نمونه محاسبات برای سیستم شکافت القایی $^{11}_5\text{B} + ^{237}_{93}\text{Np} \rightarrow ^{248}_{98}\text{Cf}$
- ۷۵ ۳-۳-۳- سیستم شکافت القایی $^{16}_8\text{O} + ^{208}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{224}_{90}\text{Th}$
- ۸۰ ۴-۳-۳- سیستم شکافت القایی $^{19}_9\text{F} + ^{208}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{227}_{91}\text{Pa}$
- ۸۳ ۵-۳-۳- سیستم شکافت القایی $^{16}_8\text{O} + ^{209}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{225}_{91}\text{Pa}$
- ۸۵ ۶-۳-۳- سیستم شکافت القایی $^{11}_5\text{B} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{246}_{97}\text{Bk}$
- ۸۸ ۷-۳-۳- سیستم شکافت القایی $^{11}_5\text{B} + ^{197}_{79}\text{Au} \rightarrow ^{208}_{84}\text{Po}$
- ۹۰ ۸-۳-۳- سیستم شکافت القایی $^{16}_8\text{O} + ^{197}_{79}\text{Au} \rightarrow ^{213}_{87}\text{Fr}$
- ۹۳ ۹-۳-۳- سیستم شکافت القایی $^{16}_8\text{O} + ^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{248}_{98}\text{Cf}$
- ۹۵ ۱۰-۳-۳- سیستم شکافت القایی $^{14}_7\text{N} + ^{197}_{79}\text{Au} \rightarrow ^{211}_{86}\text{Rn}$

- ٩٨ $^{14}_7N + ^{209}_{83}Bi \rightarrow ^{232}_{90}Th$ سيستم شكافت القايى ١١-٣-٣
- ١٠٠ $^{11}_5B + ^{209}_{83}Bi \rightarrow ^{221}_{88}Ra$ سيستم شكافت القايى ١٢-٣-٣
- ١٠٣ $^{12}_6C + ^{209}_{83}Bi \rightarrow ^{220}_{89}Ac$ سيستم شكافت القايى ١٣-٣-٣
- ١٠٦ $^1_1p + ^{209}_{83}Bi \rightarrow ^{210}_{84}Po$ سيستم شكافت القايى ١٤-٣-٣
- ١٠٨ $^1_1p + ^{185}_{75}Re \rightarrow ^{186}_{76}Os$ سيستم شكافت القايى ١٥-٣-٣
- ١١١ $^4_2He + ^{206}_{82}Pb \rightarrow ^{210}_{84}Po$ سيستم شكافت القايى ١٦-٣-٣
- ١١٣ $^4_2He + ^{182}_{74}W \rightarrow ^{186}_{76}Os$ سيستم شكافت القايى ١٧-٣-٣

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- آشکارساز BF_3 که در آن لوله‌ی BF_3 به وسیله‌ی لایه‌هایی از پارافین و فلز احاطه شده است و نوترون‌های سریع و گرم را منعکس می‌کند. ۱۰
- شکل ۱-۲- نمایی از پیکربندی سیستم الف: در نقطه زین و ب: در نقطه انقطاع ۱۶
- شکل ۲-۲- یک سیستم شکافت پذیر در نقطه زین و پارامترهای I, K ۱۹
- شکل ۳-۲- پیکربندی سیستم در نقطه انقطاع بصورت دو کره بدون تماس با یکدیگر. ۳۴
- شکل ۴-۲- پیکربندی سیستم در نقطه انقطاع بصورت دو بیضی در تماس با یکدیگر. ۳۴
- شکل ۵-۲- گسیل ذره از هسته مرکب در طی فرآیند شکافت ۴۶
- شکل (۱-۳-۳) نمودار ناهمسانگردی زاویه‌ای بر حسب $\frac{E_{c.m.}}{V_B}$ در سیستم $^{12}C + ^{232}Th$ ، منحنی‌های خط چین و خط پر به ترتیب نشان‌دهنده‌ی داده‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای و پیش‌بینی ناهمسانگردی زاویه‌ای در مدل آماری نقطه زینی استاندارد بدون تصحیح گسیل نوترون است. نقاط، داده‌های تجربی با خطای آزمایش هستند. ۶۴
- شکل (۲-۳-۳) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{12}_6C + ^{232}_{90}Th$ ۶۵
- شکل (۳-۳-۳) نمودار ناهمسانگردی زاویه‌ای بر حسب $\frac{E_{c.m.}}{V_B}$ در سیستم $^{11}B + ^{237}Np$ ، منحنی‌های خط چین و خط پر به ترتیب نشان‌دهنده‌ی داده‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای و پیش‌بینی ناهمسانگردی زاویه‌ای در مدل آماری نقطه زینی استاندارد بدون تصحیح گسیل نوترون است. نقاط، داده‌های تجربی با خطای آزمایش هستند. ۷۲
- شکل (۴-۳-۳) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی پرتابه در چارچوب مرکز جرم برای سیستم $^{11}_5B + ^{237}_{93}Np$ ۷۳
- شکل (۵-۳-۳) نمودار ناهمسانگردی زاویه‌ای بر حسب $\frac{E_{c.m.}}{V_B}$ در سیستم $^{16}O + ^{208}Pb$ ، منحنی‌های خط چین و خط پر به ترتیب نشان‌دهنده‌ی داده‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای و پیش‌بینی ناهمسانگردی

زاویه‌ای در مدل آماری نقطه زینی استاندارد بدون تصحیح گسیل نوترون است. نقاط، داده‌های تجربی با خطای آزمایش هستند. ۷۷

شکل (۳-۳-۶) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{16}_8O + ^{208}_{82}Pb$ ۷۸

شکل (۳-۳-۷) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{19}_9F + ^{208}_{82}Pb$ ۸۱

شکل (۳-۳-۸) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{16}_8O + ^{209}_{83}Bi$ ۸۴

شکل (۳-۳-۹) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{11}_5B + ^{235}_{92}U$ ۸۶

شکل (۳-۳-۱۰) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{11}_5B + ^{197}_{79}Au$ ۸۹

شکل (۳-۳-۱۱) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی برای هر مرحله برای سیستم $^{16}_8O + ^{197}_{79}Au$ ۹۱

شکل (۳-۳-۱۲) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{16}_8O + ^{232}_{90}Th$ ۹۴

شکل (۳-۳-۱۳) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{14}_7N + ^{197}_{79}Au$ ۹۶

شکل (۳-۳-۱۴) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{14}_7N + ^{209}_{83}Bi$ ۹۹

شکل (۳-۳-۱۵) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{11}_5B + ^{209}_{83}Bi$ ۱۰۱

شکل (۳-۳-۱۶) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای سیستم $^{12}_6C + ^{209}_{83}Bi$ ۱۰۴

شکل (۳-۳-۱۷) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی

در هر مرحله برای سیستم ${}^1_0p + {}^{209}_{83}Bi$ ۱۰۷

شکل (۳-۳-۱۸) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی

در هر مرحله برای سیستم ${}^1_0p + {}^{185}_{75}Re$ ۱۰۹

شکل (۳-۳-۱۹) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی در

هر مرحله برای سیستم ${}^4_2He + {}^{206}_{82}Pb$ ۱۱۲

شکل (۳-۳-۲۰) نمودار نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین بر حسب انرژی برانگیختگی

برای سیستم ${}^4_2He + {}^{182}_{74}W$ م ۱۱۴

فهرست جداول

- جدول ۱-۱- مقادیر میانگین نوترونهای گسیلی در فرآیند شکافت القایی ^{235}U ۱۲
- جدول (۱-۳-۳): سیستم‌های شکافت القایی با یون سنگین [۲۹ و ۲۸] ۵۹
- جدول (۲-۳-۳): سیستم‌های شکافت القایی با پرتابه‌های سبک ۶۰
- جدول (۳-۳-۳): مقادیر تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم $^{244}_{96}\text{Cm}$ → ۶۰
- $^{12}_6\text{C} + ^{232}_{90}\text{Th}$ ۶۰
- جدول (۴-۳-۳) کمیت‌های لازم برای بدست آوردن ناهمسانگردی زاویه‌ای بر اساس مدل آماری نقطه زینی استاندارد برای سیستم $^{12}_6\text{C} + ^{232}_{90}\text{Th}$ ۶۱
- جدول (۵-۳-۳) نوترون‌های گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{12}_6\text{C} + ^{232}_{90}\text{Th}$ ۶۵
- جدول (۶-۳-۳): مقادیر تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم $^{11}_5\text{B} + ^{248}_{98}\text{Cf}$ → ۶۸
- $^{237}_{93}\text{Np}$ ۶۸
- جدول (۷-۳-۳) کمیت‌های لازم برای بدست آوردن ناهمسانگردی زاویه‌ای بر اساس مدل آماری نقطه زینی استاندارد برای سیستم $^{11}_5\text{B} + ^{237}_{93}\text{Np}$ ۶۹
- جدول (۸-۳-۳) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{11}_5\text{B} + ^{237}_{93}\text{Np}$ ۷۳
- جدول (۹-۳-۳): مقادیر تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم $^{16}_8\text{O} + ^{224}_{90}\text{Th}$ → ۷۵
- $^{208}_{82}\text{Pb}$ [۱۲] ۷۵
- جدول (۱۰-۳-۳) کمیت‌های لازم برای بدست آوردن ناهمسانگردی زاویه‌ای بر اساس مدل آماری نقطه زینی استاندارد برای سیستم $^{16}_8\text{O} + ^{208}_{82}\text{Pb}$ ۷۶
- جدول (۱۱-۳-۳) سایر کمیت‌های لازم موردنیاز برای سیستم $^{16}_8\text{O} + ^{208}_{82}\text{Pb}$ ۷۶
- جدول (۱۲-۳-۳) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{16}_8\text{O} + ^{208}_{82}\text{Pb}$ ۷۸

- جدول (۳-۳-۱۳) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$ ۸۱
- جدول (۳-۳-۱۴) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{16}\text{O} + ^{209}\text{Bi}$ ۸۳
- جدول (۳-۳-۱۵) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{11}\text{B} + ^{235}\text{U}$ ۸۶
- جدول (۳-۳-۱۶) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{11}\text{B} + ^{197}\text{Au}$ ۸۸
- جدول (۳-۳-۱۷) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{16}\text{O} + ^{197}\text{Au}$ ۹۱
- جدول (۳-۳-۱۸) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{16}\text{O} + ^{232}\text{Th}$ ۹۳
- جدول (۳-۳-۱۹) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{14}\text{N} + ^{197}\text{Au}$ ۹۶
- جدول (۳-۳-۲۰) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{14}\text{N} + ^{209}\text{Bi}$ ۹۸
- جدول (۳-۳-۲۱) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{11}\text{B} + ^{209}\text{Bi}$ ۱۰۱
- جدول (۳-۳-۲۲) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله $^{12}\text{C} + ^{209}\text{Bi}$ ۱۰۳
- جدول (۳-۳-۲۳) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر مرحله برای $^1\text{p} + ^{209}\text{Bi}$ ۱۰۶
- جدول (۳-۳-۲۴) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی $^1\text{p} + ^{185}\text{Re}$ ۱۰۹

- جدول (۳-۳-۲۵) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی
.....⁴He+²⁰⁶Pb ۱۱۱
- جدول (۳-۳-۲۶) نوترونهای گسیل شده از حالت پایه تا نقطه‌ی زین به همراه انرژی برانگیختگی در هر
مرحله ⁴He+¹⁸²W ۱۱۴
- جدول ۴-۱- کمیت‌های محاسبه‌شده‌ی مربوط به سیستم‌های مورد مطالعه در این تحقیق [۲۸،۲۹] ۱۱۸
- جدول ۴-۲- سیستم‌های مورد مطالعه در این تحقیق به همراه سیستم‌های مشابه آن‌ها [۲۸]..... ۱۲۰
- جدول ۴-۳- مقادیر تجربی و مقادیر محاسبه‌شده‌ی زمان‌های گذار برای سیستم‌های مورد مطالعه‌ی این
تحقیق ۱۲۱
- جدول ۴-۴- درصد اختلاف بین مقادیر تجربی و مقادیر محاسبه‌شده‌ی زمان‌های گذار برای سیستم‌های
بررسی شده‌ی این تحقیق ۱۲۲



دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات پایان نامه تحصیلی

عنوان:

ارائه‌ی روشی برای تفکیک نوترونها‌ی پیش از نقطه‌ی زین و اثر آن روی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت در واکنش‌های القا‌یی با یون سنگین

نام نویسنده: راضیه صادقی

نام استاد راهنما: دکتر سعید سهیلی

نام استاد مشاور: دکتر منوچهر بابایی پور

گروه آموزشی: فیزیک

دانشکده: علوم پایه

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

گرایش تحصیلی: هسته‌ای

رشته تحصیلی: فیزیک

تعداد صفحات: ۱۲۷

تاریخ دفاع:

تاریخ تصویب: ۹۰/۱۰/۱۲

چکیده:

توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت در واکنش‌های شکافت القا‌یی با یون سنگین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تئوری حالت گذار برای تعیین توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت ارائه شده است که شامل مدلهای آماری نقطه زینی استاندارد و نقطه انقطاع است. از لحظه‌ی وقوع فرآیند شکافت، گسیل ذرات صورت می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین ذرات گسیل شده نوترون است. از نقطه نظر تجربی جداسازی نوترونها‌ی گسیل شده پیش از نقطه‌ی زین از کل نوترونها‌ی گسیلی پیش از شکافت کاری مشکل و پیچیده است. در این تحقیق سعی شده است برای نخستین بار با استفاده از مدل آماری نقطه‌ی زینی استاندارد روشی برای تفکیک نوترونها‌ی پیش از نقطه‌ی زین از کل نوترونها‌ی گسیلی پیش از شکافت ارائه شود. همچنین یکی از کمیت‌های که تاکنون به صورت محدود بررسی شده است زمان رسیدن هسته‌ی مرکب از حالت پایه نقطه‌ی زین است. در ادامه‌ی تحقیق با در دست داشتن نوترونها‌ی گسیل شده پیش از نقطه‌ی زین می‌توان زمان رسیدن هسته‌ی مرکب به نقطه‌ی زین را از زمان شکافت هسته مرکب، تفکیک کرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های شکافت القا‌یی، ناهمسانگردی زاویه‌ای، نوترونها‌ی گسیلی پیش از شکافت هسته مرکب

مقدمه

نوترون اولین بار در سال ۱۹۳۲ وقتی چادویک اتم‌های بریلیوم را با ذرات آلفا بمباران می‌کرد، کشف شد. در این آزمایش چادویک دریافت که اشعه‌ایی با قابلیت نفوذ بسیار بالا تولید می‌شود. این اشعه در میدان الکتریکی منحرف نمی‌شد و این بدان معنا بود که بار الکتریکی ندارد. به دلیل قابلیت نفوذ بالای آن به نظر می‌رسید از جنس اشعه‌ی ایکس یا اشعه‌ی گاما و از این قبیل باشد. اندازه‌گیری چادویک نشان داد که سرعت این اشعه برابر با یک دهم سرعت نور است، بنابراین نمی‌توانست از نوع امواج نورانی و مشابه اشعه‌ی ایکس و یا گاما باشد و نیز خصلت ذره‌ای بودن آن به مراتب بیشتر از آنهاست. آزمایش‌های گوناگون و محاسبات مربوط به آنها نشان داد که جرم این ذرات در حدود جرم پروتون است. در این سالها انریکو فرمی و همکاران وی آزمایش‌های فراوانی با نوترون انجام دادند و متوجه شدند خنثی بودن نوترون عامل قابلیت بالای نفوذ آن به هسته است. تا این زمان هنوز فرآیند شکافت شناسایی نشده بود.

چنانچه هسته‌ی هدفی توسط باریکه‌ی تابشی از ذرات سبک نظیر پروتون، نوترون و یا حتی یون سنگین بمباران شود، هسته‌ی مرکب تشکیل می‌شود و در صورتی که هسته‌ی تولید شده به اندازه‌ی کافی سنگین باشد، ممکن است در اثر شکافت به دو پاره تقسیم شود که با گسیل ذراتی همچون گاما، آلفا و بویژه نوترون همراه است. این نوترونهای گسیل شده از فرآیند شکافت خود می‌توانند رویدادهای شکافت جدیدی را موجب شوند.

شکافت هسته‌ای فرآیندی است که در طی آن هسته‌ی یک اتم سنگین به دو یا چند هسته‌ی کوچکتر تجزیه می‌شود. در سال ۱۹۳۸ زمانی که شیمیدانان آلمانی هان^۱ و اشتراسنمن^۲ در حال آزمایش

^۱Hahn

^۲Shtrassmann

بر روی اورانیوم بودند، متوجه شدند که نوترونهای شلیک شده نتیجه‌ی باورنکردنی به همراه دارند و هسته‌ی اورانیوم را به دو یا چند قسمت تقسیم می‌کنند و بدین طریق فرآیند شکافت را کشف کردند.

با وجود اینکه اغلب اوقات، ساده‌ترین شکل شکافت جذب یک نوترون آزاد توسط هسته است، واکنش شکافت را به وسیله برخورد یک هسته‌ی قابل شکافت با دیگر ذرات نیز می‌توان القا کرد. به عبارت دیگر واکنش‌های شکافت را می‌توان به دو نوع شکافت خودبخودی و شکافت القایی تقسیم‌بندی کرد. ذرات القاکننده در واکنش‌های شکافت القایی می‌توانند پروتون، نوترون، هسته‌های دیگر و یا حتی فوتون‌های با انرژی خیلی بالا مثل پرتوهای گاما باشند. به ندرت ممکن است که یک هسته قابل شکافت بدون دریافت نوترون شکافت خودبخودی انجام دهد. شکافت القایی در عناصر سنگین آسان‌تر است و به طور کلی هر چه هسته سنگین‌تر باشد احتمال شکافت آن بیشتر می‌شود. پدیده شکافت در تولید عناصر ابرسنگین، از همان زمان کشف این پدیده مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور داشتن اطلاعات کافی درباره دینامیک شکافت و همجوشی الزامی است.

توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت یکی از مهم‌ترین فاکتورهای قابل ملاحظه در شکافت هسته‌ای است و یک منبع غنی از اطلاعات پیرامون مکانیسم همجوشی-شکافت را در اختیار ما قرار می‌دهد. از جهت دیگر مطالعه توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت منبع سرشاری از اطلاعات مربوط به ساختار هسته‌ها است، به طوری که نه فقط به کانال ورودی یونهای سنگین تشکیل دهنده هسته‌ی مرکب حساس هستند، بلکه همچنین به سایر جنبه‌های آماری هسته‌ی مرکب میانی که در درجات آزادی گوناگون به تعادل می‌رسند نیز حساس هستند. به همین دلیل تاکنون توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت سیستم‌های زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است.

به جهت اهمیت موضوع توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت مدل‌های متعددی در این زمینه ارائه شده است. اساس تحقیق ما در این پایان‌نامه بر پایه‌ی مدل آماری نقطه زینی استاندارد استوار شده است. اگرچه مدل آماری نقطه زینی استاندارد اولین مدل ارائه شده در زمینه توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت محسوب می‌شود، اما همچنان پرکاربردترین مدل در زمینه توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت است. تا به حال دانشمندان هسته‌ای دو محدوده‌ی اعتبار برای این مدل ارائه کرده اند، اما هر دو محدوده‌ی اعتبار در سال‌های اخیر توسط آزمایش‌های مختلف زیر سوال رفته است. علت اصلی پیش بینی نادرست مدل آماری نقطه زینی استاندارد با نتایج تجربی را به وجود هسته‌ی غیر مرکب ربط می‌دهند.

از آنجاییکه در این تحقیق به ارائه‌ی روشی برای تفکیک نوترونهای پیش از نقطه زین در واکنش‌های القایی با یون سنگین پرداخته‌ایم، فصل اول را به بررسی انواع نوترونها و روش‌های به دست آوردن باریکه‌ی نوترون اختصاص داده‌ایم. در فصل دوم مدل آماری نقطه زینی استاندارد را مورد بحث قرار داده‌ایم تا بتوانیم با استفاده از این مدل در فصل سوم به تفکیک نوترونهای پیش از نقطه‌ی زین و در فصل چهارم به مقایسه‌ی نتایج حاصل از این تفکیک با زمانهای مربوط به گسیل نوترونها بپردازیم.

فصل اول

انواع گسیل نوترونها و روش های به دست

آوردن باریکه ی نوترون

نوترون به عنوان عضو بدون بار جفت نوکلئونی، در مطالعه‌ی نیروهای هسته‌ای نقش اساسی دارد. نوترون‌ها حتی با انرژی خیلی کم، بدون اینکه تحت تاثیر ارتفاع سد کولنی قرار گیرند، می‌توانند به داخل هسته نفوذ کنند و باعث شکل‌گیری واکنش‌های هسته‌ای شوند. تحقیقات پایه با نوترون‌ها از آغاز پیدایش فیزیک هسته‌ای تا به امروز ادامه داشته است. از این رو در ده سال اخیر، محاسبه‌ی تعداد نوترونهای گسیل شده از فرآیند شکافت یک موضوع مهم در آزمایشات و مطالعات نظری بوده است و اطلاعات مهمی را در زمینه‌ی همجوشی-شکافت فراهم آورده است. در این فصل به بررسی برخی از انواع نوترون‌ها و روش‌های اندازه‌گیری آن می‌پردازیم.

۱-۲-نوترونهای گسیل شده در فرآیند شکافت

از زمان تشکیل هسته‌ی مرکب تا نقطه‌ی انقطاع و بعد از نقطه‌ی انقطاع هم گسیل نوترون داریم. به این دلیل که در برابر گسیل نوترون سد کولنی نداریم. گسیل نوترون فرآیندی است که با فرآیند شکافت رقابت می‌کند. پاره‌های شکافت تولید شده در بعضی از واکنش‌ها، دارای فرونی نوترون هستند. فرونی نوترون از طریق گسیل یک یا چند نوترون در لحظه‌ی وقوع فرآیند شکافت کاهش می‌یابد. این نوترون‌ها به نوترونهای آنی معروف هستند. زمان گسیل نوترونهای آنی در محدوده‌ی 10^{-21} ثانیه است. تعداد نوترونهای آنی گسیل شده در هر رویداد شکافت معین، متناسب با ماهیت پاره‌ها و نیز با انرژی ذره‌ی تابشی در حالت شکافت القایی تغییر می‌کند. علاوه بر نوترونهای آنی، نوترونهای تاخیری نیز در فرآیند شکافت گسیل می‌شوند. این نوترون‌ها به دنبال واپاشی بتازای شکافت پاره‌ها گسیل می‌شوند. شدت کلی نوترونهای تاخیری به حدود یک نوترون در هر صد شکافت می‌رسد، ولی همین نوترونهای اندک برای کنترل رآکتور هسته‌ای نقش اساسی ایفا می‌کنند.

در هر فرآیند شکافت سه دسته نوترون گسیل می‌شود:

الف- نوترونهای پیش شکافت یا نوترونهای گسیلی پیش از رسیدن به تعادل هسته‌ی مرکب: پیش از واکنش شکافت، ابتدا بین پرتابه و هدف همجوشی رخ می‌دهد و سپس به دلیل مبادله‌ی نوکلئون بین پرتابه و هدف یک سیستم دو هسته‌ای شکل می‌گیرد که هنوز به حالت تعادل نرسیده است. و برای رسیدن به حالت تعادل و در نتیجه تشکیل هسته‌ی مرکب اولین دسته از نوترونها در این مرحله گسیل می‌شوند.

ب- نوترونهای پیش از انقطاع: دسته‌ی دوم نوترونهای گسیلی، نوترونهای گسیل شده از لحظه‌ی تشکیل هسته‌ی مرکب تا قبل از نقطه‌ی انقطاع است. این دسته از نوترونها خود به دو بخش تقسیم می‌شوند:

ب-۱- نوترونهای گسیلی از لحظه‌ی تشکیل هسته‌ی مرکب تا نقطه‌ی زین؛

ب-۲- نوترونهای گسیلی از نقطه‌ی زین تا نقطه‌ی انقطاع؛

ج- نوترونهای گسیلی از پاره‌های شکافت شتابدار: پاره‌های شکافت نسبت به ایزوتوپ پایدار خانواده‌ی خود فزونی نوترون دارند. سهم بیشتر انرژی قابل دسترس در فرآیند شکافت به دلیل نیروی دافعه‌ی کولنی بین پاره‌ها به انرژی جنبشی پاره‌های شکافت تبدیل می‌شود. پاره‌های شکافت شتابدار نیز می‌توانند نوترون گسیل کنند.

۱-۳- چشمه‌های نوترون

۱-۳-۱- چشمه آلفا- بریلیوم:

واکنش زیر را می‌توان به منظور ایجاد چشمه‌ی نوترون در آزمایشگاه مورد استفاده قرار داد. ایزوتوپ بریلیوم، دارای یک نوترون مقید نسبتا سست است. هرگاه یک ذره‌ی آلفای حاصل از واپاشی پرتوزا با هسته‌ی بریلیوم برخورد کند، یک نوترون آزاد می‌شود که معادله‌ی واکنش آن به این صورت است:



۱-۳-۲- چشمه فوتو نوترون:

در برهمکنشی مشابه با فرآیند چشمه های (α, n) می توان از واکنش (γ, n) برای ایجاد نوترون استفاده کرد. معادله ی این واکنش به صورت زیر است:



۲]

۱-۳-۳- شکافت خود بخود:

چشمه های متداول نوترونهای حاصل از شکافت خودبخودی، ایزوتوپهایی نظیر ${}^{252}\text{Cf}$ هستند. نوترونها در این حالت به طور مستقیم در فرآیند شکافت با آهنگی حدود تعداد چهار نوترون در ثانیه تولید می شوند.

۱-۳-۴- واکنش های هسته ای:

تعدادی از واکنش های هسته ای وجود دارد که در آنها نوترون می تواند به دست آید. برای این منظور یک شتاب دهنده برای ایجاد باریکه ایی از ذرات نیاز است، تا بتوان واکنش را آغاز کرد. به همین دلیل استفاده از آنها کار آسانی نیست. برخی از واکنش های مورد استفاده عبارتند از:

